

II-120 エアレーションにより生じる空気泡プルームの水理解析

中部大学工学部 正員 松尾 通規
 京都大学工学部 正員 岩佐 義朗
 京都大学大学院 学生員 渡辺浩太郎

1. はじめに;エアレーション法による貯水池の水質改善効果と明らかにするための基礎となる空気泡プルームの流れについて著者は数値解析的研究を行い、定性的には、概ね現象の把握を可能にした。しかし、定量的把握を行うに足る詳細な実験データは現在のところ得られていない。そこで、室内実験により、空気泡プルームの水理特性についての基礎資料を得るとともに、それに基づく数値解析を実施し、それらの結果を比較検討した。

2. 室内実験とその結果;室内実験

表-1 実験ケース

Case No.	空気量 Nl/hr	曝気水深 cm
1. ●	100	50
2. ○	150	50
3. □	25	50
4. △	100	30

は、直径2m、高さ6mの内形水槽に水深45cmの水を貯め、水槽底面の中心に設置した口径1cmの空気放出

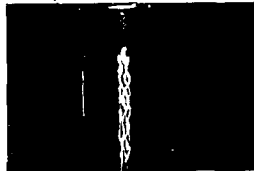


図-1 上昇する気泡の様子



図-2 空気泡の分布

口より空気泡を発生させて行った。まず、上昇する気泡の挙動を写真撮影により調べた。図-1は上昇する数個の気泡の1秒間の軌跡を示したもので、個々の気泡がらせん状にゆらぎながら上昇していく様子がわかる。気泡の軌跡の横に白く見える10cmの棒と比較することにより、気泡の平均上昇速度約25(%)を得た。また、図-2はCase 1における気泡の分布を撮影した例であるが、これらより気泡の分布幅は空気量に関係なくプルーム幅の0.5倍程度となることわかった。

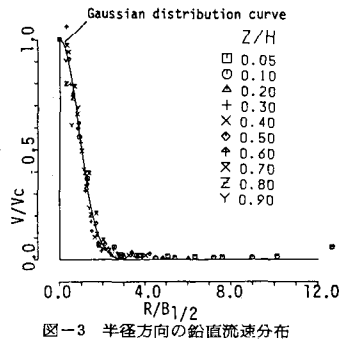


図-3 半径方向の鉛直流速分布

次に、流速測定の結果について述べる。まず、中心軸に直交する鉛直断面内の流速を測定した結果、顕著な旋回流は見られず、流れはほぼ軸対称であることがわかった。そこで中心軸からある一方の鉛直断面内における流速

の鉛直方向成分Vの分布を、その中心軸上での値Vc(以下、軸上鉛直流速という)とプルームの半値半幅Bで無次元化して示すと、図-3のようになる。同図より、鉛直流速の分布は、気泡放出口からの距離Zに関係なくほぼ相似であり、図中に示したようなガウス分布曲線で近似されることがわかる。すなわち、この点については一般の軸対称噴流あるいはプルームと同様の基本的性質を認めることができる。図4は、表-1の実験ケースについて軸上鉛直流速の水深方向への変化とその最大値Vcmax及び曝気水深Hで無次元化して表したものである。この図

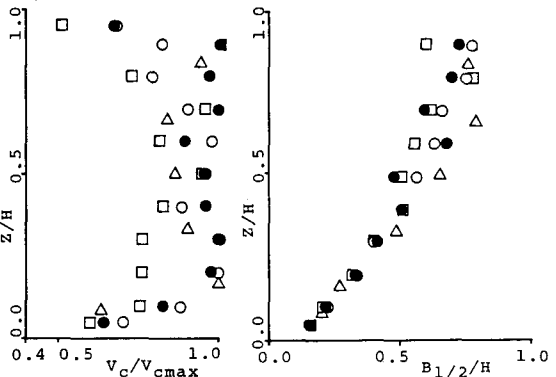


図-4 軸上鉛直流速の分布

より、 $Z/H = 0.2$ 及び 0.7 程度のところを境として、流れの特徴に関する定性的区分ができるようである。同じことがプルームの半値半幅の分布を曝気水深で無次元化して表示した図-5についても言えよう。すなわち、空気放出口より $Z/H = 0.1$ 程度までは半値半幅の値はほぼ一定となり、それから $Z/H = 0.6 \sim 0.7$ までは放出口からの距離に比例して増加し、それを越えると再び一定値あるいは緩やかな傾きで推移する傾向がある。

3. 数値解析及び結果;上述の室内実験より得られたプルームの基礎的性質に基づいて、プルームの数値解析を実施した。解析に用いたモデルは従来の気泡体積を考慮した円筒二次元モデルであるが、その詳細は参考文献に譲

図-5 半値半幅の分布

り、ここでは計算条件についてのみ述べる。まず、室内実験での流れを対象として、半径100cm、水深50cmの円柱状領域を考へ、水深方向に $\Delta Z=5\text{cm}$ 、半径方向には18cmまでは $\Delta R=2\text{cm}$ 、その後は ΔR を直線的に増加させて空間分割を行った。空気泡は放出口での発生、水面での消失以外の出入りは無いものとし、そのスリップ速度には、図1で得られた値25(%)を用いた。次に、計算結果を大きく左右する各種パラメータについて述べる。渦動粘性係数については、室内実験から得られた流れの特徴に基づき、従来よりこの種の流れに慣用されているPrandtlの混合距離第二理論及び等オ一様性の仮定を用いて、

$$\epsilon_{vr} = \epsilon_{rr} = \epsilon_{rz} = \epsilon_{rz} = \epsilon_{zz} = C_1 B_{1/2} \cdot V_c \quad (1)$$

とする。ここで、 $B_{1/2}$ はブルームの半値半幅であり、前述の三領域区分に従って、 $r/a \sim 0.1$ 間は一様、 $r/a = 0.1 \sim 0.6$ までは直線的に増加、 $r/a = 0.6$ 以上では再び一定となるように値を与えた。具体的値については個々の実験結果の近似値を用いた。 C_1 はメッシュ分割の大きさにも関する未知定数で、ここでは 0.16 とした。また、ブルーム外縁までの距離を $3\sigma = 2.56 B_{1/2}$ とし、その域内では(1)式で ϵ_v を与え、域外では一様に $\epsilon_v = a_1$ とした。気泡拡散係数 ϵ_s についても、 ϵ_v との相似性を仮定し、

$$\epsilon_s = \epsilon_{sr} = \epsilon_{sz} = \lambda_1 \cdot \epsilon_v \quad (2)$$

で与えた。係数 λ_1 には図2より得られた値 0.15 を用いた。計算は時間間隔 $\Delta t = 0.005$ 秒とし、鉛直流速がほぼ定常に達する20秒までを行った。

図6(a)~(d)に表1の実験ケースについての計算結果を示す。

軸上鉛直流速については、Case1を除いて計算値の方が若干大きくなっている。これは、気泡の形状や運動並びに流れとの相互関係の単純化及び未知定数 C_1 の与え方に起因するものであろう。また、半径方向への分布は、計算値の方が外縁付近でやや振りが大きい。これは、ブルーム外縁の与え方とともに、メッシュ分割に伴うみかけの分散効果の影響にもよると考えられ、さらに検討する必要がある。こうしたいくつかの問題点はなお残されているが、全体としては、概ね良好な結果が得られたと見てよいであろう。

次にKobusの実験ケースを対象として、流れの場のスケールが異なるケースについて検討してみる。Kobusの実験は水深4.7m、幅8m、長さ280mの水槽を用い、水底より0.2mに位置する単孔より気泡を発生させたものである。この場合のメッシュ分割は $\Delta Z \approx 10\text{cm}$ 、 ΔR は中心軸付近の5cmを最小として、距離に応じて変化させた。パラメータの設定法は(1)、(2)式と同様であるが、 $B_{1/2}$ については、図5の結果より水深 H を用いて、次のように仮定した。

$$0.0 \leq r/a < 0.1: B_{1/2} = 0.02 \times H, \quad 0.1 \leq r/a < 0.6: B_{1/2} = 0.08 \times Z + 0.02 \times H, \quad 0.6 \leq r/a \leq 1.0: B_{1/2} = 0.06 \times H \quad (3)$$

なお、 C_1 はメッシュ分割の大きさ ΔZ を考慮し、 0.08 とした。結果を図7(a)(b)に示す。両図より、場のスケールが異なっても現象の再現性は比較的良好であり、解析に用いたモデルならびに各種パラメータ等の設定法の妥当性が確かめられたと考えよう。(参考文献) (1) 太鼓地 敏夫: 気液混相流の水利に関する数値解析 昭和59年度京都大学修士論文 (2) Kobus, E.H.; Analysis of the flow induced by air-bubble systems

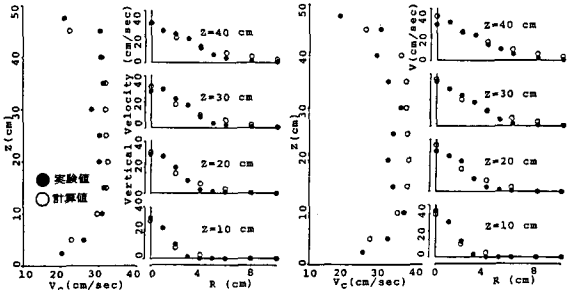


図-6 (a) 計算結果 (Case1)

図-6 (b) 計算結果 (Case2)

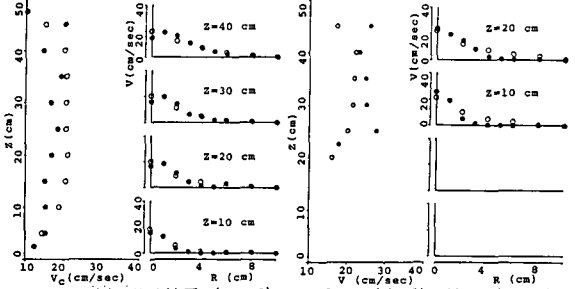


図-6 (c) 計算結果 (Case3)

図-6 (d) 計算結果 (Case4)

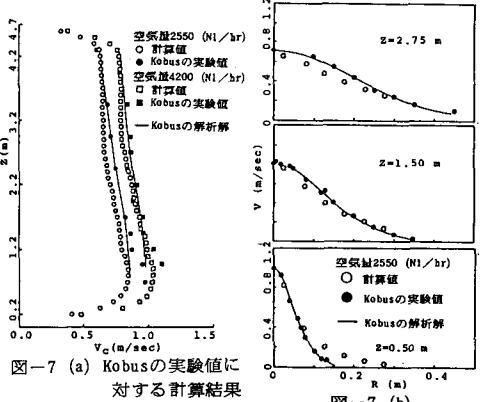


図-7 (a) Kobusの実験値に対する計算結果

図-7 (b)